



TITLE:

堰型構造物周辺の河床変動予測手法に関する研究(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

太田, 一行

CITATION:

太田, 一行. 堰型構造物周辺の河床変動予測手法に関する研究. 京都大学, 2017, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2017-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k20345>

RIGHT:

京都大学	博士（工 学）	氏名	太田 一行
論文題目	堰型構造物周辺の河床変動予測手法に関する研究		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本研究は、ダムゲート運用時におけるダム近傍の局所洗掘を精度良く予測する手法を提案することを目的としている。以下に、本研究の主要な成果を示す。</p> <p>第 1 章は序論であり、貯水池内堆砂の現状、堆砂対策（排砂・通砂）を簡潔に述べた後、構造物周辺の局所的な河床変動予測技術が不足していることを指摘し、本論文の目的と論文の構成について述べている。</p> <p>第 2 章では、堰型構造物の局所洗掘に関連する既往の実験的研究と数値解析的研究に関する文献調査を行い、既往の局所洗掘の予測式あるいは数値モデルを整理している。実験的研究については、堰型構造物周辺を対象とした既往実験は静的平衡状態の洗掘孔の評価に留まっていることを述べている。また、洗掘の有無を予測するための洗掘発生限界条件式が既に提案されているが、排砂ゲートのように開口部が含まれる場合には既往式を適用できない問題点を指摘している。数値解析的研究については、構造物周りの局所洗掘を対象とした最近の三次元解析モデルを整理している。既往モデルのほとんどは掃流砂が卓越する場での数値解析を実施しており、浮遊砂が重要となる場での解析精度は不明であることを指摘している。また、流砂の非平衡性や乱流の影響を浮遊砂の生成に取り入れた例は見当たらず、浮遊砂の生成モデルの高度化に取り組むべき課題として抽出している。</p> <p>第 3 章では、排砂ゲート付きダムを模擬したスリット堰模型上流の局所洗掘に関する室内実験を行っている。まず、洗掘が発生し始める時の限界条件を明らかにするための実験（45 ケース）を行い、構造物の長さパラメータ、水理パラメータ、粒径等により表される洗掘発生条件式を提示している。そして、局所洗掘の移動床実験（38 ケース）を行い、洗掘形状の時間変化を計測して、無次元水理量と局所洗掘形状の関係について分析した。その結果、流量配分比（スリット通過流量と流入流量の比）と相対スリット幅が洗掘孔の水平形状に大きく影響し、有効 Flow intensity（無次元化された上流流速と洗掘発生限界流速の差分）が洗掘体積量の増大に支配的な影響を及ぼすことを示している。また、第 5 章にて洗掘の簡易モデルを構築するための準備段階として、無次元化された洗掘孔の長さパラメータ（最大洗掘深、洗掘孔の縁の長さ・幅）を相互に関連付ける推定式を提示している。</p> <p>第 4 章では、堰型構造物周辺の流砂と河床変動を対象とした三次元解析モデルを提案している。解析モデルの実用性を考慮して、比較的粗い解析格子を許容するレイノルズ平均方程式型モデル(RANS)を流体モデルとして採用している。流砂モデルには、流砂の非平衡性を考慮して、掃流砂の運動・堆積・浮遊砂への遷移をラグランジュ的に扱う手法と、浮遊砂の移流・拡散・沈降をオイラー的に扱う手法をカップリングしたモデルを用いている。第 3 章で実施した密度や粒径の異なる 2 種類の実験（軽量粒径、細砂）を対象として、局所洗掘実験の再現計算を行い、解析モデルの精度を検証している。実験における流砂形態</p>			

京都大学	博士（工 学）	氏名	太田 一行
<p>との比較により、解析モデルが堰近傍での掃流-浮遊の遷移を正確に表現していることを示し、洗掘孔の拡大に伴って、掃流から浮遊への遷移点が上流側にシフトすることを述べている。洗掘形状の経時変化との対比により、本解析モデルで最大洗掘深・洗掘体積量・洗掘長・洗掘幅を概ね良好に解析できることを示している。また、洗掘の初期段階において、堰に沿うネックレス渦によって堰前面が横断方向に侵食されることと、間欠的な土砂スライド現象によって洗掘孔の縁が上流側に拡大することを考察している。いずれのケースも最大洗掘深については約 25%の過小評価となっており、今後の課題の一つとして位置づけている。</p> <p>第 5 章では、第 3 章にて得られた実験データに基づいて洗掘率（単位時間あたりに洗掘される体積量）をモデル化し、流砂の連続式と組み合わせることで、洗掘体積量の時間変化を算出する 1 階非線形常微分方程式を導出している。そして、第 3 章で得られた洗掘孔の長さパラメータの経験式ならびに洗掘発生限界条件式を常微分方程式とカップリングすることで、洗掘形状の幾何学的なパラメータ（洗掘体積量、最大洗掘深など）の時間変化を簡便かつ高精度に推定する手法を提案している。この常微分方程式型モデルを用いて、非定常流量を与えた洗掘実験（静的洗掘、動的洗掘）の再現計算を行い、静的洗掘条件と動的洗掘条件の両方において、洗掘形状の時間変化を本手法で精度良く計算できることを示している。静的洗掘については、スリット幅の異なる 2 種類のケースを対象とし、スリット幅が大きいほど洗掘体積量は大きくなり、スリット幅が小さいほど最大洗掘深が増大する現象を解析モデルで捉えている。動的洗掘については、凸型、凹型の洪水波形を対象とし、減水期における上流からの土砂流入による埋め戻し効果（洗掘孔が小さくなる現象）を再現している。さらに、3 次元解析の検証（第 4 章）に用いた実験の再現計算も行っている。そして、常微分方程式型モデルが 3 次元解析と同程度の計算精度を有し、3 次元解析では困難な長期に渡る計算を行えることを示している。</p> <p>第 6 章は結論であり、本論文で得られた成果について要約するとともに、今後の課題についてとりまとめている。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、ダムゲートの排砂時におけるダム上流の局所洗掘を対象として、局所洗掘の予測手法を提案したものである。得られた主な成果は次の通りである。

1. 局所洗掘の発生限界を求める室内実験に基づいて、堰型構造物を対象とした洗掘発生限界の実験式を提示している。また、移動床実験に基づいて、無次元化された洗掘孔の長さのパラメータ（最大洗掘深、洗掘孔の縁の長さ・幅）を相互に関連付ける推定式を提示している。さらに、有効Flow intensity（無次元化された上流流速と洗掘発生限界流速の差分）が洗掘進行に支配的な無次元パラメータであることを示している。
2. 掃流砂の運動・堆積・浮遊砂遷移をラグランジュ的に扱う手法と、浮遊砂の移流・拡散・沈降をオイラー的に扱う手法をカップリングした 3 次元河床変動解析モデルにより、堰近傍で重要となる掃流から浮遊への遷移現象を考慮した解析手法を新たに提案している。ついで、移動床実験結果との比較により、本モデルで洗掘形状の経時変化特性を精度良く計算できることを確認している。また、洗掘の初期段階において、堰に沿う渦流によって堰前面が横断方向に侵食されることと、間欠的な土砂スライド現象によって洗掘孔の縁が上流側に拡大することが計算結果に基づいて考察されている。さらに、掃流砂から浮遊砂に遷移する場所の時間変化についても考察されている。
3. 新たに誘導した無次元洗掘率や、流砂の連続式、洗掘孔の長さパラメータ間の関係式を組み合わせた常微分方程式型モデルを提示し、これを用いて非定常場での静的および動的洗掘現象を精度良く計算できることを確認している。すなわち、静的洗掘については、スリット幅の異なる 2 種類のケースを検証対象とし、スリット幅が小さいほど無次元化された最大洗掘深が増大することを確認している。一方、動的洗掘については、凸型、凹型の洪水波形を検証対象とし、減水期における上流からの土砂流入による埋め戻し効果を確認している。そして、実験結果と比較・検討した結果、常微分方程式型モデルが 3 次元解析と同程度の計算精度を有し、3 次元解析では困難な長期間の計算を行えることを示している。

以上、本論文は堰型構造物周辺の局所洗掘を対象とした 3 次元河床変動解析モデルと常微分方程式型モデルを提案したものであり、学術的ならびに実用的に寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 29 年 2 月 20 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。